



Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-142642

(43)公開日 平成10年(1998) 5月29日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 F 1/35

識別記号

F I

G 0 2 F 1/35

審査請求 有 請求項の数5 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平8-298683

(22)出願日 平成8年(1996)11月11日

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 中村 滋

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

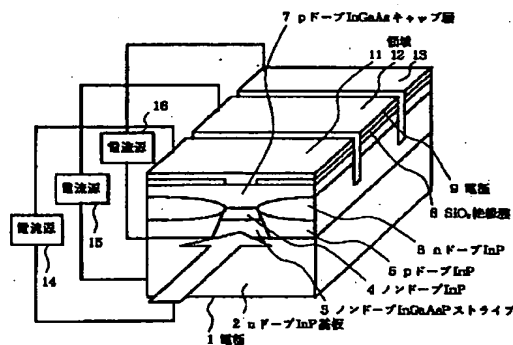
(74)代理人 弁理士 若林 忠

(54)【発明の名称】 非線形光導波路

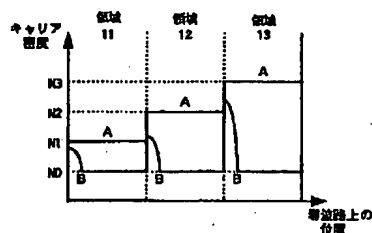
(57)【要約】

【課題】 制御光増幅に伴う屈折率変化を利用する非線形光導波路において、より低い注入電流量での動作を可能にする。

【解決手段】 制御光に対して光増幅を示すとともに、該光増幅に伴って非線形屈折率変化が引き起こされる半導体光増幅媒質よりなり、入力された信号光に対して前記制御光の入力に伴う非線形屈折率変化によって位相シフトが生じる光導波路(1~8)と、半導体光増幅媒質への電流の注入を行うための、複数の領域11~13からなる電極9と、電極9の各領域に対して、それぞれ独立に電流を注入する複数の電流源14~15とを有する。各領域11~13は、半導体光増幅媒質の入射口側から光伝搬方向に沿って設けられており、これら領域における電流密度が入射口側から段階的に高くなるように注入電流量が設定されている。



(a)



(b)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 制御光に対して光増幅を示すとともに、該光増幅に伴って非線形屈折率変化が引き起こされる半導体光増幅媒質よりなり、入力された信号光に対して前記制御光の入力に伴う非線形屈折率変化によって位相シフトが生じる光導波路と、

前記半導体光増幅媒質への電流の注入を行うための複数の電極と、

前記複数の電極に対して、それぞれ独立に電流を注入する複数の電流注入手段と、を有し、

前記複数の電極は、前記半導体光増幅媒質の入射口側から光伝搬方向に沿って設けられており、これら電極における電流密度が入射口側から段階的に高くなるように前記複数の電流注入手段の注入電流量が設定されたことを特徴とする非線形光導波路。

【請求項2】 請求項1に記載の非線形光導波路において、

前記複数の電極における電流密度の段階的な増加が、前記制御光の光増幅に応じた単調増加となっていることを特徴とする非線形光導波路。

【請求項3】 請求項1に記載の非線形光導波路において、

前記半導体光増幅媒質が、多重量子井戸構造を有することを特徴とする非線形光導波路。

【請求項4】 請求項3に記載の非線形光導波路において、

前記多重量子井戸構造は、バンドギャップ波長が入射口側から段階的に長波長側にシフトした構造を有することを特徴とする非線形光導波路。

【請求項5】 請求項4に記載の非線形光導波路において、

前記バンドギャップ波長の長波長側へのシフトが、前記複数の電極における電流密度の増加に伴う利得ピーク波長の短波長側へのシフトに応じて設定されたことを特徴とする非線形光導波路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ通信や光情報処理等の分野で用いられる光スイッチの構成要素である非線形光導波路に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光通信システムや光情報処理システムの高速化には、伝送路、多重／分離回路、さらには論理回路に「光－電気」や「電気－光」の変換回路を必要としない全光化システムの構築が必要であると考えられる。このような全光化システムの構築には、高速動作の可能な光制御素子が求められる。

【0003】従来、光制御素子においては電気信号により光制御を行う方法（電気－光制御）がとられてきたが、近年、より高速性が期待される方法として、光によ

り光制御を行う方法（光－光制御）が注目されている。特に、光通信システムにおいて、高速動作可能な光－光制御によるスイッチ（光－光スイッチ）を光分離回路

（光デマルチプレクサ）に用いることができれば、時間分割多重方式による大容量化を実現する上で大きなブレイクスルーとなる。

【0004】光－光スイッチを実用化する上で要求される性能は、上記のような高速性だけでなく、低スイッチングエネルギー、高繰返し動作、コンパクトなサイズなど多岐にわたる。特に、スイッチングエネルギーに関しては、半導体レーザ、ファイバアンプ、あるいは半導体レーザアンプによって到達可能な光パルスエネルギーの範囲内にあることが求められる。

【0005】要求される性能を実現する上で、まず問題となるのは、光－光スイッチの駆動原理である非線形光学効果のフィギュアオブメリット「 $\chi(3)/\tau\alpha$ （ $\chi(3)$ ：非線形性の大きさ、 $\tau$ ：応答時間、 $\alpha$ ：信号損失）」が一般的にほぼ一定であるという点である。すなわち、大きな非線形性と高速性とを同時に満足する非線形光学効果を得ることは困難であると考えられている。

【0006】非線形光学効果を非共鳴励起型と共鳴励起型に大別した場合、まず、非共鳴励起型においては、高速性が期待されるが、非線形性が小さいという問題がある。現在のところ、非共鳴励起による非線形光学効果を実用レベルのスイッチングエネルギーで利用することはかなり難しいと考えられる。これに対して、共鳴励起型においては、非線形光学媒質中に実励起される電子の緩和が遅く、高速動作実現の上で問題となるが、非線形性は大きい。この点は実用上大きな魅力であり、これまでに電子の緩和が遅いという問題を解決した、高速動作を実現するための様々な方法が提案されてきた。ここでは、光－光スイッチの構成要素である非線形光導波路において、高効率な共鳴励起型非線形光学効果が用いられた従来例を挙げる。

【0007】特開平2-193128号公報には、半導体光増幅媒質において制御光入射によるキャリア密度の減少によって生じる非線形屈折率変化を利用した光－光スイッチが記載されている。この光スイッチの構成は、図3のように表わされる。ファイバから成る3dBカップラ22、23によりマッハ・ツェンダー干渉計が構成されており、信号光はポート25より入射され、カップラ22で分岐され、カップラ23で干渉する。マッハ・ツェンダー干渉計の一方のアームに非線形光導波路21が挿入されており、干渉する二光波の位相差により信号光がポート27、28のどちらから出力されるかが定まる。

【0008】図4(a)は、非線形光導波路21の素子構造を示す図である。nドープInP基板2上に、選択成長によりノンドープInGaAsPストライプ3およびノンドープInP4を形成した後、pドープInP5およびnドープInP6によりブロック層を形成し、p

ドーブエ $n$ GaAsキャップ層7を形成する。結晶成長には、いずれも有機全属気相エビタキシー(MOVPE)法を用いている。その後、表面にSiO<sub>2</sub>絶縁膜8を形成し、ストライプ3の直上部分のみをウェットエッチングにより取り除く。さらに、表面に電極9を形成し、ウェハを研磨した後、裏面に電極1を形成し、ウェハをへき開した後、両端面に無反射コーティングを施す。InGaAsPより成る光導波部は、吸収端波長1.50 $\mu$ mであり、厚さ0.3 $\mu$ m、幅1 $\mu$ m、長さ300 $\mu$ mである。非線形光導波路1は、バイアス電流を注入することにより利得を示し、その利得ピーク波長は1.47 $\mu$ mとなった。

【0009】制御光パルスは、ポート26より入射される波長選択カプラ24を通過して非線形光導波路21へ入力される。制御光波長は、非線形光導波路21の利得領域に設定されている。したがって、制御光パルスが非線形光導波路21に入射されると、制御光増幅に伴ってキャリアが減少し、屈折率変化が引き起こされる。このとき、非線形光導波路21を通過する信号光は非線形位相シフトを受ける。信号光がポート27より出射される状態を初期状態とした場合、非線形光導波路21における屈折率変化により、信号光の出射ポートはポート28に切り替わる。こうして、制御光による信号光の切替動作が可能となる。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】図4(b)は、非線形光導波路21において制御光パルス通過前(A)と通過後(B)のキャリア密度の分布を示す図である。横軸は、伝搬方向に沿った位置を示す。入射部付近では制御光パルスエネルギーは小さいため、制御光パルス増幅と引き換えにキャリア密度が減少する量は小さい。制御光は、伝搬とともにある程度増幅された後、利得を飽和させるようになる。その場合、キャリア密度は制御光に対して利得も吸収も示さなくなる大きさ(N0)まで減少する。したがって、非線形光導波路全体で制御光増幅に寄与することにより減少するキャリアの量は、図4

(b)のAとBで挟まれた領域の面積で表わされる。信号光が受ける非線形位相シフト量はこの面積にほぼ比例すると考えられる。

【0011】上記からわかるように、従来の非線形光導波路は、入射部付近においてキャリアが反転分布のまま残ってしまう。この部分のキャリアは、非線形屈折率変化に寄与せずに無駄になっている。そのため、従来は、十分な非線形屈折率変化を得るために、高い注入電流量が必要とされていた。

【0012】また、このように注入電流量が高くなるものにおいては、光増幅媒質(レーザ媒質)におけるレーザ発振を抑えるために必要とされる無反射コーティングの反射率への要求が厳しくなるという問題も生じる。

【0013】本発明の目的は、上記の問題を解決し、低

い注入電流量で十分な非線形屈折率変化が得られる非線形光導波路を提供することにある。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の非線形光導波路は、制御光に対して光増幅を示すとともに、該光増幅に伴って非線形屈折率変化が引き起こされる半導体光増幅媒質よりなり、入力された信号光に対して前記制御光の入力に伴う非線形屈折率変化によって位相シフトが生じる光導波路と、前記半導体光増幅媒質への電流の注入を行うための複数の電極と、前記複数の電極に対して、それぞれ独立に電流を注入する複数の電流注入手段と、を有し、前記複数の電極は、前記半導体光増幅媒質の入射口側から光伝搬方向に沿って設けられており、これら電極における電流密度が入射口側から段階的に高くなるように前記複数の電流注入手段の注入電流量が設定されたことを特徴とする。

【0015】上記の場合、前記複数の電極における電流密度の段階的な増加は、前記制御光の光増幅に応じた単調増加となるようにすることが望ましい。

【0016】また、前記半導体光増幅媒質を多重量子井戸構造としてもよい。この場合、前記多重量子井戸構造は、バンドギャップ波長が入射口側から段階的に長波長側にシフトした構造となるようにしてもよい。さらに、前記バンドギャップ波長の長波長側へのシフトが、前記複数の電極における電流密度の増加に伴う利得ピーク波長の短波長側へのシフトに応じて設定されるようにしてもよい。

【0017】上記のとおりの本発明によれば、半導体光増幅媒質の入射口側から光伝搬方向に沿って複数の電極が設けられ、電極毎に独立に電流注入がなされるように構成されているので、各電極における電流密度を自由に設定できる。この特徴により、以下のような作用を有する。

【0018】半導体光増幅媒質における光増幅では、光強度は伝搬とともに指数関数的に急激に増大し、その後、利得は飽和することになる。したがって、入射部付近では増幅度が低く、光強度も低くなっている。本発明では、各電極の電流密度は入射口側から段階的に高くなるように設定されるので、キャリア密度は入射部付近では低く、光が伝搬するにつれて段階的に高くなる。これにより、光強度が低い入射部付近においても利得が飽和することとなり、注入されたキャリアはほぼ無駄なく光増幅に寄与することになる。したがって、従来のように、キャリアが入射部付近において反転分布のまま残ってしまい、屈折率変化に寄与せずに無駄になるといったことがなくなる。

【0019】また、上記のように入射口側の電極の電流密度が低く設定されるものにおいては、入射口側の注入電流量が低くなった分、トータルの注入電流量が従来のものに比べて低くなる。実際は、出射口側の電極の電流

密度が従来のもののそれと同じに設定される。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0021】＜実施形態1＞図1(a)は、本発明の第一の実施の形態の非線形光導波路の構造を示す図である。nドープInP基板2上に、選択成長によりノンドープInGaAsPストライプ3およびノンドープInP4を形成した後、pドープInP5およびnドープInP6によりブロック層を形成し、全面にpドープInGaAsキャップ層7を形成する。ここでは、結晶成長に有機金属気相エピタキシー(MOVPE)法を用いている。

【0022】キャップ層7を形成した後、表面にSiO<sub>2</sub>絶縁膜8を形成し、ストライプ(あるいはチャネルともいうが、以下の説明では光導波路と称す)3の直上部分のみをウェットエッチングにより取り除く。さらに、表面に電極9を形成し、該電極9を光伝搬方向に対して領域11~13の3つの領域に分割するように溝を形成する。この電極9を分割する各溝(領域11~13間の溝)は、例えば幅が10μmで、深さがノンドープInP層4にまで達し、各領域11~13間を電氣的に絶縁する。

【0023】上記のようにして電極9を形成した後、ウェハを研磨してウェハ裏面に電極1を形成し、さらに、ウェハをへき開した後、両端面に無反射コーティングを施し、非線形光導波路を完成する。

【0024】上述のようにして形成された非線形光導波路の電極9には、各領域11~13に対して電流源14~16がそれぞれ接続される。これにより、ストライプ3へのキャリア注入を各領域11~13毎に所望の電流注入量で行うことができる。すなわち、光導波路3におけるキャリアの密度を、各領域毎に所望のキャリア密度に設定できる。

【0025】また、ノンドープInGaAsP3は、電極9(領域11~13)に電流が注入されることにより、所定波長の制御光に対して利得を示し、制御光の増幅により非線形屈折率変化を引き起こす非線形光学媒質である。本形態では、このストライプ3は、例えば吸収端波長が1.50μm、厚さが0.3μm、幅が1μm、長さが300μmとなっている。なお、ストライプ3において電流注入により利得を生じる光の波長範囲を利得領域、これ以外の波長(利得を生じない光の波長)範囲を透明領域という。

【0026】本形態の非線形光導波路の特徴は、電極9を分割し、光導波路3へのキャリア注入を各領域11~13毎に所望のキャリア密度で行うことができるようにしたこととあり、ここでは、領域11~13における電流密度をそれぞれJ1~J3とし、キャリア密度をそれぞれN1~N3とすると、各電流密度はJ1<J2<J

3の関係となるように、各キャリア密度はN1<N2<N3の関係となるように設定される。より具体的には、制御光のエネルギーは光導波部3を伝搬するにつれて増幅することに着目し、入射側ではキャリア密度を低く、出射側に進むにつれてキャリア密度が高くなるように、制御光のエネルギー増幅に応じたキャリア密度が設定される。

【0027】次に、この非線形光導波路の光制御素子としての動作原理について説明する。

【0028】光導波路3には、波長が1.47μmなる利得領域に設定されたパルス幅1psの制御光、および波長が1.55μmなる透明領域に設定された信号光が入射される。このときの制御光パルス通過前(A)と通過後(B)における非線形光導波路中のキャリア密度の分布を図1(b)に示す。同図では、横軸は伝搬方向に沿った位置を示す。

【0029】電極9の領域11の電流密度は入射時の制御光のエネルギーに応じて低く設定されているので、該領域11からのキャリア注入による光導波路3におけるキャリア密度は低くなっている。したがって、入射された制御光パルスは、入射部付近においても利得を飽和させる。

【0030】電極9の領域12,13の電流密度は制御光のエネルギーの増幅に応じて段階的に高くなるように設定されているので、これらの領域12,13からのキャリア注入による光導波路3におけるキャリア密度も各領域毎に段階的に高くなっている。したがって、制御光パルスは、光導波路3の領域12,13に対応するそれぞれの領域においても利得を飽和させる。このようにして、本形態の光導波路では、制御光は光導波路3のほぼ全域で利得を飽和させながら進むことになる。

【0031】上述のように、制御光パルス通過後、キャリア密度は光導波路3のほぼ全域で吸収も利得も示さないキャリア密度N0に達する。これにより、注入されたキャリアは、ほぼ無駄なく制御光の増幅に寄与することになる。したがって、非線形光導波路へのトータルな注入電流量を低く抑えることができ、かつ、信号光に対して十分な非線形位相シフトを効率的に与えることが可能となる。

【0032】＜実施形態2＞図2(a)は、本発明の第二の実施の形態の非線形光導波路の構造を示す図である。nドープInP基板2上に、減圧MOVPE法による選択成長を用いて、ノンドープInGaAs/InGaAsP(1.15μm組成)多重量子井戸(MQW)構造14およびノンドープInP4を形成した以外は前述の図1に示した第1の実施形態の構成とほぼ同様の構成となっている。図中同じ構成には同じ符号を付している。

【0033】MQW構造14は、InGaAsウェル層とInGaAsPバリア層が交互に20層ずつ積層され

た構造となっている。MQW構造14の成長前には、InP基板2上にあらかじめ堆積させたSiO<sub>2</sub>をパターニングし、図2(b)に示すようなマスク15を形成しておく。MQW構造14を成長させるためのストライプ開口部の幅は例えば2μm(W1)、ストライプ開口部の両脇のマスク幅は、例えば領域11では5μm(W2)、領域12では10μm(W3)、領域13では15μm(W4)である。ここで、各領域11~13の長さは、それぞれ150μmである。

【0034】MQW構造14を成長した後、マスク15を除去し、前述の第1の実施形態と同様にpドープInP5およびnドープInP6によりブロック層を形成し、さらにpドープInGaAsキャップ層7を形成した後、電極9を形成してこれを領域11~13に分割する。ここでも、結晶成長にMOVPE法が用いられる。

【0035】本形態の非線形光導波路は、前述の第1の実施形態で説明した、光導波路におけるキャリア密度を、入射側ではキャリア密度を低く、出射側に進むにつれてキャリア密度が高くなるように、制御光のエネルギー増幅に応じて設定することに加えて、以下のようない特徴を備えている。

【0036】すなわち、本形態では、利得のピーク波長が注入される電流密度の増加(すなわち、電流密度が領域11、12、13の順に増加していること)に伴い、一般には短波長側へシフトすることに着目し、この波長シフトに応じて、多重量子井戸構造14よりなる光導波路のバンドギャップ波長を多段階に長波長側にシフトするような構成とすることにより、その利得のピーク波長の短波長側へシフトを防止するようになっている。

【0037】具体的には、選択成長により形成されたInGaAs/InGaAsP多重量子井戸構造14は、領域11、12、13でInGaAs層の厚さが異なるようになっている。これは、ストライプ両脇のマスク幅が、領域11、12、13で異なるためである。この多重量子井戸構造14よりなる光導波路の各領域11~13におけるフォトルミネッセンスのピーク波長を測定すると、領域11では1.48μm、領域12では1.50μm、領域13では1.52μmとなり、バンドギャップ波長が入射面側から進むにつれて(領域11、12、13の順に)長波長側にシフトした構成となっている。

【0038】なお、上記の多重量子井戸構造14よりなる光導波路のバンドギャップ波長はストライプ両脇に形成されるマスク幅に依存することから、このマスク幅を変えることにより所望のバンドギャップ波長シフトを設定することができる。これにより、利得のピーク波長の短波長側へのシフトに応じたバンドギャップ波長シフトが可能になる。

【0039】次に、この非線形光導波路の光制御素子としての動作原理について説明する。以下の説明においても、前述の第1の実施形態の場合と同様、波長が1.4

7μmなる利得領域に設定されたパルス幅1psの制御光、および波長が1.55μmなる透明領域に設定された信号光が光導波路に入射されるものとする。

【0040】非線形光導波路は、電流が注入されることにより利得を示す。領域11、12、13における電流密度は、前述の第1の実施形態の場合と同様、 $J1 < J2 < J3$ である。したがって、キャリア密度は $N1 < N2 < N3$ となる。これにより、本形態においても、前述の第1の実施形態と同様に、制御光は光導波路のほぼ全域で利得を飽和させながら進むことになる。よって、注入されたキャリアはほぼ無駄なく制御光の増幅に寄与することになり、非線形光導波路へのトータルの注入電流量を低く抑えたままで、信号光に十分な非線形位相シフトを与えることが可能となる。

【0041】この際、利得のピーク波長は注入される電流密度の増加に伴って短波長側へシフトするが、本形態の非線形光導波路においては、あらかじめ多重量子井戸構造14よりなる光導波路のバンドギャップ波長を領域11、12、13の順に長波長側へシフトさせているため、各領域11~13において利得ピーク波長は全て1.47μmとなる。よって、利得のピーク波長は各領域11~13において制御光の波長と一致することとなり、効率の良い非線形位相シフト(非線形屈折率変化)を得られることになる。

【0042】<他の実施形態>上述した第1および第2の実施形態の非線形光導波路を用いて、前述の図3に示した光路切替型の光-光スイッチ(光制御スイッチ素子)を構成することができる。すなわち、ファイバから成る3dBカプラ22、23によりマッハ・ツェンダー干渉計が構成されており、信号光はポート25より入射され、カプラ22で分岐され、カプラ23で干渉する。干渉する二光波の位相差により信号光がポート27、28のどちらから出力されるかが定まる。第1の実施形態または第2の実施形態で説明した非線形光導波路21が、マッハ・ツェンダー干渉計の一方のアームに挿入される。

【0043】制御光パルスは、ポート26より入射され波長選択カプラ24を通過して非線形光導波路21へ入力される。利得領域に波長を設定された制御光パルスは、非線形光導波路21に入射され、屈折率変化を引き起こす。このとき、非線形光導波路21を通過する信号光は非線形位相シフトを受ける。信号光がポート27より出射される状態を初期状態とした場合、非線形光導波路21におけ屈折率変化により、信号光の出射ポートはポート28に切り替わる。こうして、制御光による信号光の切替動作が可能となる。

【0044】以上、光導波部をInGaAsPあるいはInGaAs/InGaAsP多重量子井戸としInPをクラッドとした非線形光導波路を例にとって説明したが、本発明によれば、GaAs基板上に形成し得る材料

を用いた場合など他の材料から成る非線形光導波路を用いた場合においても同様の効果を得られる。

#### 【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、制御光増幅に伴う屈折率変化を利用する非線形光導波路において、従来に比べて、低い注入電流量で光増幅に伴う屈折率変化の動作が可能となるので、低エネルギー光制御素子を実現できる。

【0046】また、注入電流量を低くすることができることから、光増幅媒質（レーザ媒質）におけるレーザ発振を抑えるために必要とされる無反射コーティングの反射率への要求が緩和されるという効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明の非線形光導波路の第1の実施の形態の素子構造を示す図、(b)は導波路中のキャリア密度分布を示す図である。

【図2】(a)は本発明の非線形光導波路の第2の実施の形態の素子構造を示す図、(b)は光導波部の結晶成長を行う際に用いられるマスクの一例を示す図である。

【図3】非線形光導波路を用いた光路切替型の光スイッチの構成を示す図である。

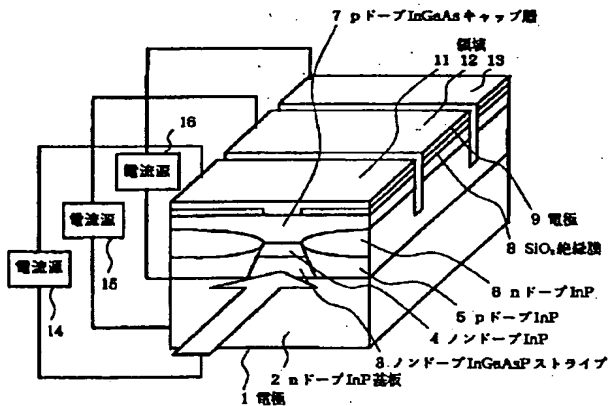
【図4】(a)は従来の非線形光導波路の素子構造を示

す図、(b)は導波路中のキャリア密度分布を示す図である。

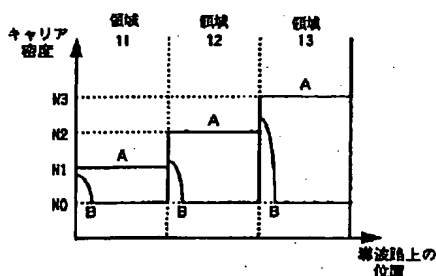
#### 【符号の説明】

- 1, 9 電極
- 2 nドープInP基板
- 3 ノンドープInGaAsPストライプ
- 4 ノンドープInP層
- 5 電流ブロック用pドープInP層
- 6 電流ブロック用nドープInP層
- 7 pドープInPキャップ層
- 8 SiO<sub>2</sub>絶縁膜
- 11~13 領域
- 14 InGaAs/InGaAsP多重量子井戸
- 15 マスク
- 21 非線形光導波路
- 22 3dBカプラ
- 23 3dBカプラ
- 24 波長選択カプラ
- 25 信号光入力ポート
- 26 制御光入力ポート
- 27 信号光出力ポート
- 28 信号光出力ポート

【図1】

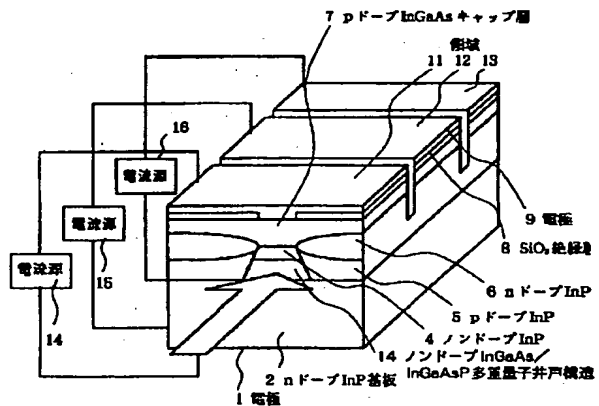


(a)

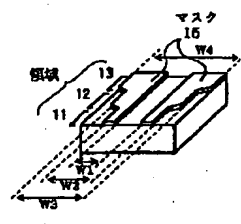


(b)

【図2】



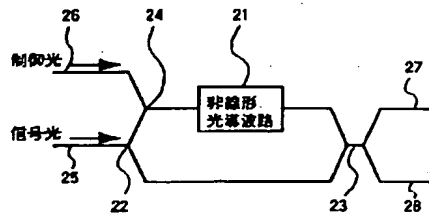
(a)



(b)



【図3】



【図4】

